



Klein und bärenstark

Spielfreie Mikroantriebe für die Optomechanik

■ Rolf Slatter, Limburg

Spielfreie Mikrogetriebe – als Partner von Mikromotoren – sind heute dauerhaft spielfrei und erreichen die Lebensdauer der Aggregate, in die sie eingebaut sind. Immer häufiger finden sie sich in der Optomechanik wieder, und dort speziell bei der Verstellung von Spiegeln, etwa in Messgeräten oder der Medizintechnik.

Mikrosystemtechnik bedeutet umfassende Miniaturisierung, weit über die Mikroelektronik hinaus, etwa in der Mechanik, Fluidtechnik, Optik, Akustik, Chemie und Biotechnik. Die Mikrosystemtechnik, darüber sind sich die Experten einig, ist eine Schlüsseltechnologie, die Wachstumsmärkte eröffnet. Einer Studie des VDE zufolge werden deutsche Unternehmen in dieser Schlüsseltechnologie bis zum Jahr 2010 eine führende Rolle einnehmen.

Vorangetrieben von der Halbleitertechnik schreitet seit einiger Zeit auch im Maschinenbau die Miniaturisierung von Bauteilen voran. Beispiele für Mikrosysteme in der Antriebstechnik sind derzeit eher noch selten, aber es gibt eine deutliche Nachfrage nach kleineren Geräten und Maschinen, unter anderem für die Herstellung, Handhabung und Prüfung kleiner optischer Komponenten. Diese wiederum benötigen kleine Antriebe für Positionierachsen. Der Bedarf steigt auch

für Mikrogetriebe, um optische Bauteile in Endgeräten hochgenau auszurichten.

Mikroantriebssysteme in diesen innovativen Anwendungen sollen nicht nur geringe Baugröße und niedriges Eigengewicht aufweisen, sondern vor allem präzise und spielfreie Bewegungsabläufe ermöglichen. Hohe Wiederholgenauigkeit und Präzision bei der Bewegungsübertragung stehen an oberster Stelle.

Mikrogetriebe an sich sind keine Neuheit. Mikro-Planetengetriebe oder Stirnradgetriebe werden bereits seit einigen Jahren entwickelt. Diese bisherigen Lösungen weisen jedoch einige Nachteile auf, die eine Anwendung in Positionierachsen in Maschinen und Geräten ausschließen. Entweder sind diese Getriebe spielbehaftet oder sie lassen nur eine extrem niedrige Belastung zu. Gefordert sind daher Mikrogetriebe, die nicht nur klein sind und aus wenigen Bauteilen bestehen, sondern auch eine hohe Wiederholgenauigkeit, Spielfreiheit und eine hohe Übersetzung ins Langsame aufweisen (also eine hohe Untersetzung).

Weltweit kleinster spielfreier Positionierantrieb

Die genannten Forderungen gaben Anstoß zur Entwicklung eines neuartigen Mikrogetriebes, des »Micro Harmonic Drive« (MHD). Dieses wurde im Jahr 2001 von der Micromotion GmbH in Zusammenarbeit mit dem Institut für Mikrotechnik Mainz (IMM) entwickelt und gilt derzeit als kleinster spielfreier Positionierantrieb. Die Grundelemente dieses Getriebes sind der Wave-Generator und die

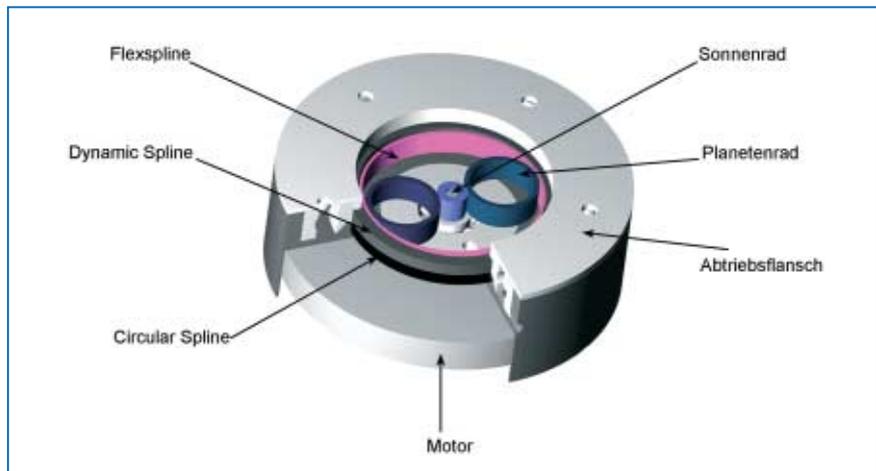


Bild 1. Bauteile und Funktionsprinzip des Micro Harmonic Drive, mit Wave-Generator (hellblaues Sonnensrad sowie mittel- und dunkelblaue Planetenräder), Flexspline (pink), Circular Spline und Dynamic Spline (zwei übereinander liegende halbhohle Hohlräder, mittel- und dunkelgrau)

drei Zahnräder Flexspline, Circular Spline und Dynamic Spline (Bild 1). Der Wave-Generator besteht aus einem Sonnensrad, das üblicherweise an der Motorwelle angebracht ist, sowie zwei elastisch ver-

formbaren Planetenrädern. Die Verzahnung der Planetenräder greift in die Innenverzahnung des Flexsplines ein. Der Flexspline ist ein dünnwandiger, elastisch verformbarer Ring, der die Form des elliptischen Wave-Generators annimmt. Die Außenverzahnung befindet sich im Eingriff mit den Innenverzahnungen sowohl des Circular Splines als auch des Dynamic Splines. Der Circular Spline ist ein innenverzahntes Hohlrad und befindet sich im Bereich der großen Ellipsenachse des Wave-Generators im Eingriff mit dem Flexspline. Der Circular Spline besitzt zwei Zähne mehr als der Flexspline. Der Dynamic Spline ist ein innenverzahntes Hohlrad mit gleicher Zähnezahl wie der Flexspline. Dieses Bauteil rotiert in gleicher Drehrichtung und mit gleicher Drehzahl wie der Flexspline und wird im Untersetzungsbetrieb als Abtriebsselement benutzt. Bild 2 zeigt eine REM-Aufnahme des Getriebeeinbausatzes.

HERSTELLER

Harmonic Drive AG,
65555 Limburg a.d. Lahn,
Tel. 0 64 31 / 50 08 -21,
Fax 0 64 31 / 50 08 -18,
www.harmonicdrive.de

formbaren Planetenrädern. Die Verzahnung der Planetenräder greift in die Innenverzahnung des Flexsplines ein. Der Flexspline ist ein dünnwandiger, elastisch verformbarer Ring, der die Form des elliptischen Wave-Generators annimmt.

Das Funktionsprinzip des MHD ähnelt dem des »konventionellen« Harmonic-Drive-Getriebes, jedoch mit dem Unterschied, dass der Wave-Generator als Planetengetriebe ausgeführt wird. Das ermöglicht hohe Untersetzungsverhältnisse von 160 : 1 bis 1000 : 1 ins Langsame. Dies ist erforderlich, da die Mikromotoren eine sehr hohe Drehzahl haben – 100 000/min sind keine Seltenheit. Des Weiteren sind die Planetenräder elastisch verformbar, was Spielfreiheit in der Planetenstufe zur Folge hat.

Diese Lösung bietet somit eine Reihe von Vorteilen:

- Spielfreiheit bei miniaturisierter Baugröße,
- hohe Wiederholgenauigkeit für präzise Positionierung,
- hohe Drehmomentkapazität für dynamische Indexieranwendungen,
- hoher Wirkungsgrad, um Leistungsverluste zu minimieren, >>>

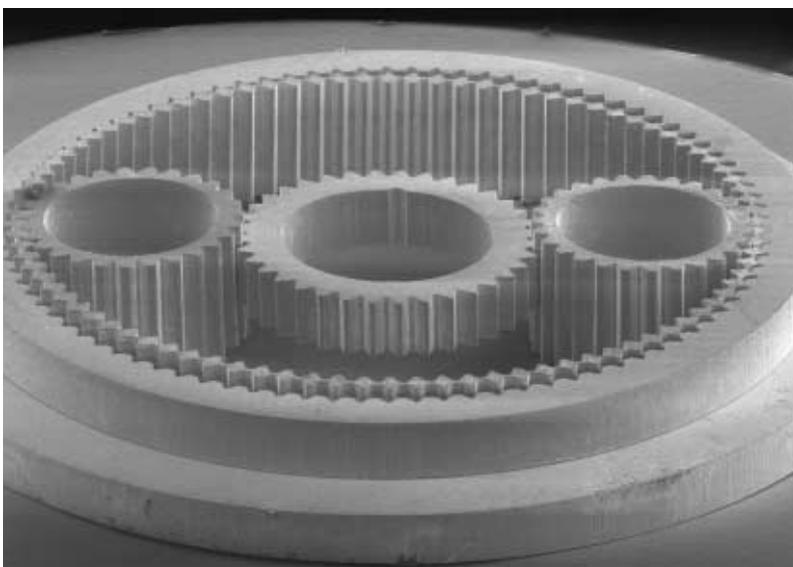


Bild 2. REM-Bild des MHD-Getriebeeinbausatzes

die Laser- dioden- spezialisten



Laserdioden



Faserkopplungen & Steckersysteme



TE - gekühlte Laserdiodenmodule



Kundenspezifische Fertigung



Faserkonfektionierungen

PHOTONIC

PRODUCTS

Telefon: +49 (0) 8142 669 8364

Telefax: +49 (0) 8142 669 8365

E-mail: salesgermany@phonic-products.com

www.phonic-products.com

Tabelle 1. Wichtigste Kenndaten der Mikrogetriebe

	Baugröße Untersetzung	MHD 8		MHD 10		
		160:1	500:1	160:1	500:1	1000:1
Spitzendrehmoment	[mNm]	6	16	10	26	40
Nenn Drehmoment	[mNm]	3	8	5	13	20
Verlustdrehmoment	[μ Nm]	30	35	50	45	40
Wiederholgenauigkeit	[arcsec]	± 10				
Außendurchmesser	[mm]	8	8	10	10	10

- flache Bauweise,
- geringes Eigengewicht für Anwendungen in tragbaren Geräten,
- hohe Untersetzungen mit wenigen Bauteilen für die verlustarme Drehmomentvergrößerung von Mikromotoren.

Um die Einbindung des Getriebes in die Maschine oder das Endgerät zu vereinfachen, ist das Micro-Harmonic-Drive-Getriebe nur als Getriebebox verfügbar.

Lebensdauer beträgt 2500 Stunden, was deutlich länger ist als die bisheriger Mikrogetriebe. In den meisten praktischen Anwendungen ist damit die Getriebelebensdauer mindestens gleich lang wie die Lebensdauer der Maschine oder des Endgeräts.

Die Getriebebox verfügt über eine hochpräzise vorgespannte Lagerung der Abtriebswelle. Die Rundlaufabweichung ist weniger als $5 \mu\text{m}$, was es dem Anwen-

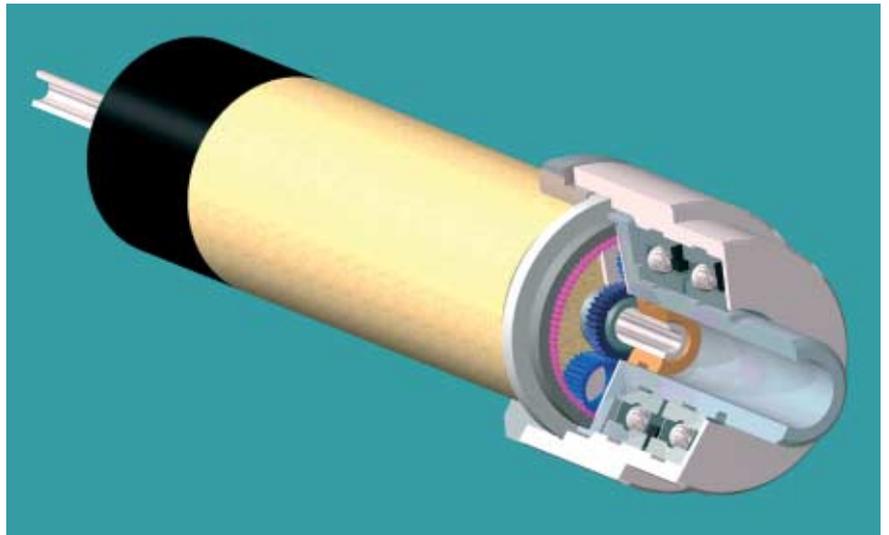


Bild 3. Die Kombination aus Getriebe, Motor und magnetischem Encoder misst nur 31,3 mm in der Länge, das ist der kleinste spielfreie Positionierantrieb

Verschiedene Varianten ermöglichen es dem Anwender, die Getriebebox entweder direkt mit gängigen Mikromotoren zu kombinieren, etwa von Arsape, Escap, Faulhaber, Maxon oder Mymotors, oder – wenn es sich um die Variante mit Antriebswelle handelt – den Motor seitlich anzubauen. Die Eckdaten der Getriebeboxen sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Die Getriebeboxen verfügen über mehrere Eigenschaften, die dieses Produkt von bisherigen Mikrogetrieben deutlich differenzieren. So ist das Micro-Harmonic-Drive-Getriebe durch vorgespannte Zahnräder spielfrei auf Dauer, das heißt, es gibt keine Spielzunahme während der gesamten Nenn-Lebensdauer. Diese Nenn-

der ermöglicht, Spiegel oder Linsen direkt an der Abtriebswelle zu fixieren. Zudem verfügen die Getriebeboxen über Gehäuse und Abtriebswellen aus Edelstahl und sind hochkorrosionsbeständig. Vakuumtaugliche und sterilisierbare Ausführungen sind – auf Anfrage – auch erhältlich.

In Zusammenarbeit mit Maxon Motor ist zudem ein AC-Servoantrieb mit zentraler Hohlwelle entstanden (Bild 3). Dieser welt kleinste spielfreie Positionierantrieb besteht aus einem MHD-Getriebe und einem elektronisch kommutierten Maxon-Motor-Typ EC6 in einer Ausführung mit Hohlwelle. Der Bohrungsdurchmesser beträgt $0,65 \text{ mm}$ – Platz genug für eine Luft-

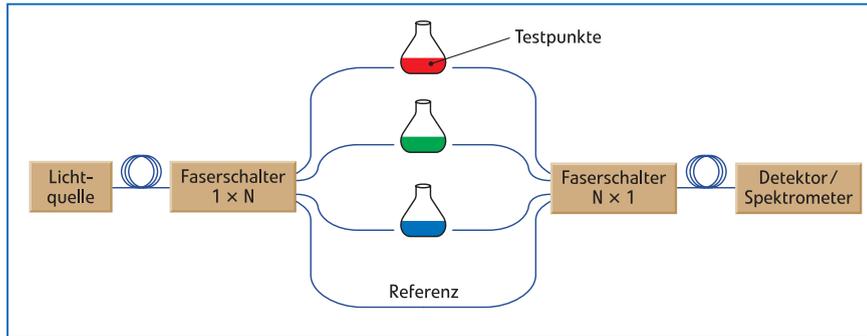


Bild 4. Faserschalter als Multiplex-System

versorgung oder um Laserstrahlen oder optische Fasern hindurchzuführen. Die Gesamtlänge mit magnetischem Encoder beträgt 31,3 mm. Ohne Motor misst die Mikro-Getriebebox 12,3 mm in axialer Länge und 8 mm im Außendurchmesser. Bei einer Standarduntersetzung von 160 : 1 wird eine abtriebsseitige Auflösung von 20 Winkelsekunden erreicht.

Mikroantrieb für optomechanische Systeme

Die möglichen Anwendungsgebiete für Mikroantriebssysteme sind vielfältiger Natur. Erste Serienanwendungen sind in den Bereichen Medizintechnik, Halbleiterfertigung und Photonik zu nennen.

Beim nachfolgend näher ausgeführten Beispiel handelt es sich um den Einsatz eines hochauflösenden Schrittmotors in einem Multimode-Faserschalter, der in der optischen Messtechnik beispielsweise als Multiplex-System (Bild 4) für die Spektroskopie oder in Belichtungssystemen seine Anwendung findet.

Das Grundkonzept des Schalters basiert auf der 1 : 1-Abbildung der Faserstirnfläche des Eingangskanals auf einen der N Ausgangskanäle. Durch den in der Zwischenbildebene befindlichen analogen Kippspiegel, dessen Adressierung das Umschalten zwischen den N Ausgangskanälen bewirkt, wird eine kompakte Bauform des Schalters realisiert (Bild 5). Der Vorteil des Konzepts mit Spiegelklippung

Herstellung mittels LIGA-Technik

Konventionelle Verfahren zur Herstellung von Zahnrädern können – abhängig von der Zahngeometrie – bis zu einem minimalen Modul von 60 bis 100 μm eingesetzt werden. Allerdings sind bei der Herstellung mit konventionellen Methoden Kompromisse hinsichtlich der Verzahnungsgeometrie zu akzeptieren.

Zur Herstellung von Zahnrädern für Mikrogetriebe hat sich daher der Einsatz mikrotechnischer Verfahren bewährt, wie zum Beispiel des LIGA-Verfahrens (Lithografie + Galvanoformung + Abformung). Diese Technologien stammen aus der Halbleiterfertigung und basieren auf lithografischen Prozessen, das heißt, die lateralen Strukturen befinden sich als Absorberschicht auf einer Maske und werden über Schattenprojektion hochpräzise in einen Fotoresist übertragen. Um Strukturen von bis zu mehreren Milli-

metern Höhe und gleichzeitig Abweichungen geringer als 1 μm zu erzeugen, muss hochenergetische und hochparallele Synchrotron-Strahlung verwendet werden.

Für die Herstellung des Micro Harmonic Drive wird ein Fertigungsverfahren verwendet, welches die kostengünstige Serienproduktion metallischer Mikrozahnräder aus einer Nickel-Eisen-Legierung ermöglicht. Das galvanisch abgeschiedene Material weist eine Streckgrenze von 1500 N/mm^2 , einen niedrigen Elastizitätsmodul von 165 000 N/mm^2 und hohe Dauerfestigkeit auf. Es bietet somit exzellente Materialeigenschaften für hochbeanspruchbare Mikrozahnräder. Um gleichzeitig hohe Unterstellungen und geringe Abmessungen realisieren zu können, wird für die Zähne ein Modul von 34 μm verwendet, entsprechend etwa der Hälfte des Durchmessers eines menschlichen Haars.



EIN MODULARES SYSTEMKONZEPT

Für:

- Radiometrische und photometrische Messungen, z. B. in Watt, Lux, Candela
- Vermessung von Lampen, Lasern, Displays, LED's etc.
- Phototherapie (UVA, UVB), Photobiologie

Wir bieten:

- Anzeigeeinheiten mit äußerst linearem und hohem Dynamikbereich
- Zahlreiche Detektortypen
- Verschiedene Eingangsoptiken
- Große anwendungsorientierte Filterauswahl
- Spezielle Detektorgeometrien

NEU Spektroradiometer

- Laborausführung: 200 – 1100 nm
 - Tragbare Ausführung: 380 – 780 nm; 200 – 500 nm
- einschließlich Software z. B. zur Bestimmung von Farbkoordinaten, Farbtemperatur und dominanter Wellenlänge

NEU UV-Dosis-Radiometer

- mit graphischer Intensitätsprofil-darstellung z. B. für UV-Aushärte- und Trocknungsanlagen

Kompetente Beratung
Telefon (0 72 43) 604-154
photonik@polytec.de

POLYTEC GMBH
Polytec-Platz 1-7
D-76337 Waldbronn
Telefon (0 72 43) 604-0
Telefax (0 72 43) 6 99 44

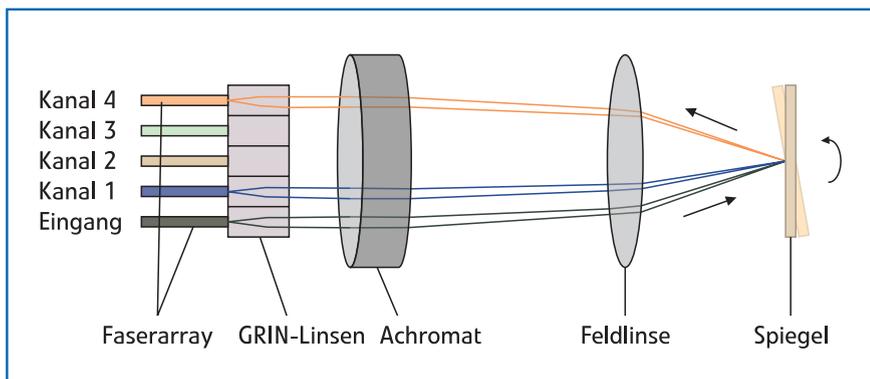


Bild 5. Der optische Schalter basiert auf einem kippbaren Spiegel bei fixierten Fasern

gegenüber herkömmlichen Schaltern, bei denen zum Beispiel die Fasern direkt zum Schalten bewegt werden, liegt in kürzeren Schaltzeiten (auch für größere Faserkern Durchmesser) und einer höheren Reproduzierbarkeit durch die fixe Position der Fasern.

Mit Hilfe einer Raytracing-Software wurde die Optik bezüglich der maximalen Koppeffizienz und des spektralen Verhaltens optimiert. Einen wesentlichen Einfluss auf die Auswahl der Optik-Komponenten haben die Spiegelgröße und der maximale Kippwinkel des Spiegels. Je größer die Auslenkung des Spiegels ist, desto mehr Ausgangskanäle N lassen sich adressieren. N hängt auch vom Kern Durchmesser der verwendeten Fasern im Bereich 50 bis 1000 μm ab. Des Weiteren wurden die theoretischen Positioniergenauigkeiten bestimmt, die für ein reproduzierbares Schaltverhalten mit Abweichungen unter 0,25 Prozent gefordert werden. Die Anforderungen liegen im Bereich unter 0,5 mrad, wodurch die Auswahl der Aktorik deutlich eingeschränkt wird.

Als Aktoren kommen unter anderem MEMS-Silizium-Mikrospiegel [2] oder kommerzielle, piezogetriebene Kippsysteme zum Einsatz (Bild 6). Beide sind in der Auslenkung auf einige Grad begrenzt. Der größere Nachteil besteht aber in den erforderlichen aufwändigen und teuren Steuerungen, die den Einsatz dieser Systeme erst ab einer relativ hohen Kanalzahl N von mindestens 60 rentabel machen. Um das Marktsegment von Schaltern

mit kleinerer Kanalzahl bedienen zu können, sind alternative Antriebsvarianten für Kippspiegel erforderlich. Bei hinreichender Auflösungssteigerung lassen sich auch Schrittmotoren verwenden.

Im Labor von Pyramid Optics in Lederhose, Thüringen, einem Hersteller hochwertiger optischer Schalter, wurde der Prototyp eines 1×2 -Multimode-Faserschalters für Faserkern Durchmesser von 200 μm aufgebaut (Bild 7). Zum Kippen des Spiegels wurde ein Schrittmotor (Halbschritt: 9°) mit einem Mikrogetriebe von 500 : 1 untersetzt, um die benötigten Positioniergenauigkeiten zu erreichen. Die Abtriebswelle wurde so konstruiert, dass die Drehachse mit der Spiegeloberfläche zusammenfällt. Die Koppeffizienz des rea-

lisierten Schalters liegt bei 85 Prozent, die Schaltzeit zwischen zwei benachbarten Kanälen wurde als unter 20 ms bestimmt. Durch den Schrittmotor steht nur eine Kippachse zur Verfügung, diese aber mit nahezu 360° Stellwinkel. In diesem Fall begrenzt die Qualität der außeraxialen Abbildung die Anzahl der Kanäle. Rechnungen haben gezeigt, dass für Faserkern Durchmesser von 1000 μm bis $N = 12$ Ausgangskanäle mit einer Koppeffizienz von über 80 Prozent bei einer Kanalinhomogenität unter 5 Prozent adressiert werden können. Durch die erfolgreiche Umsetzung von Multimode-Faserschaltern wurde gezeigt, dass Schrittmotoren mit hochauflösenden Mikrogetrieben für den Einsatz in optomechanischen Aufbauten in Frage kommen.

Ausblick

Die hohe Präzision, hohe Zuverlässigkeit und kompakten Abmessungen haben eine Vielzahl von Anwendungen für das Micro-Harmonic-Drive-Getriebe im Bereich der optischen Technologien eröffnet. Zusätzlich zu den beschriebenen Beispielen gibt es realisierte Anwendungen bei Lin senverstellungen für Mikroskope und für Endoskope, Spiegelverstellungen in Laser-Messgeräten und bei Greiferantrieben in

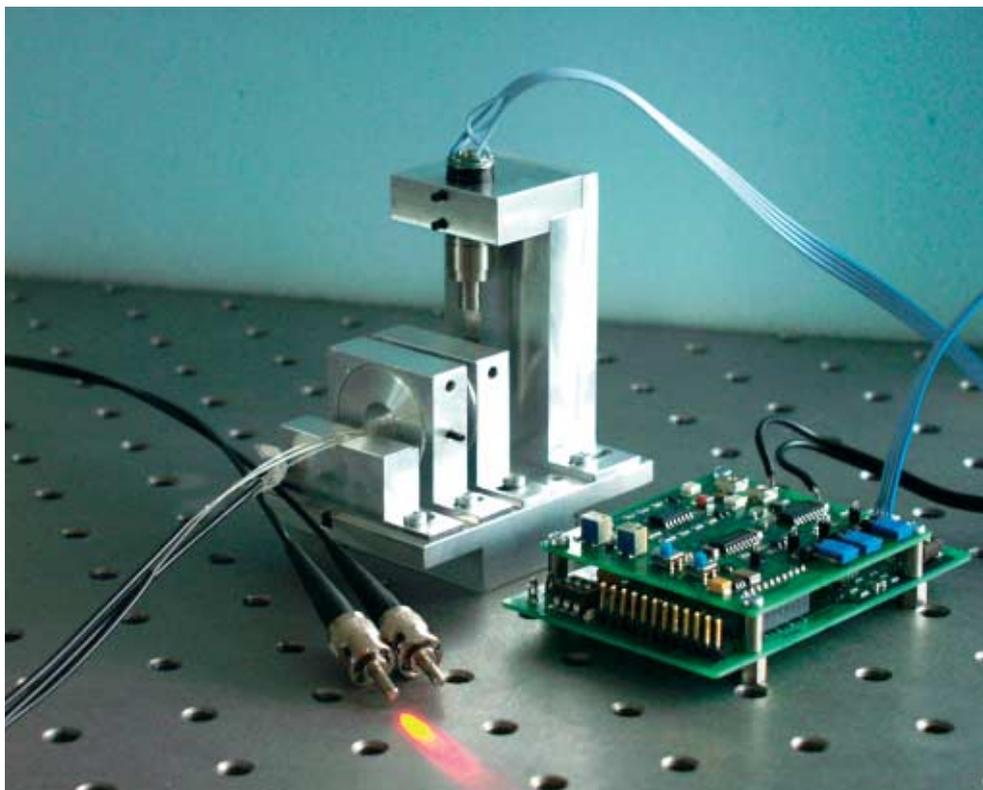


Bild 7. Laboraufbau eines 1×2 -Multimode-Faserschalters mit drehbarem Spiegel

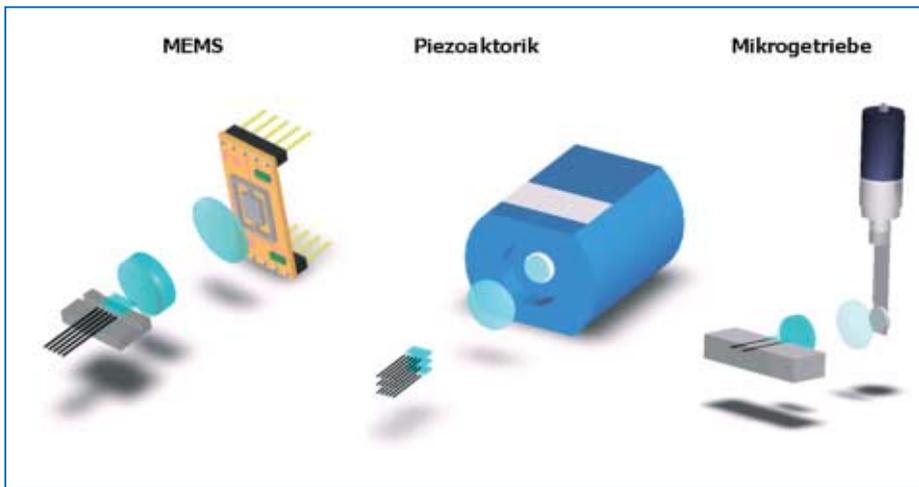


Bild 6. Für die Spiegelklippung stehen im Prinzip drei mögliche Aktorkonzepte zur Wahl

Montageautomaten für optische Komponenten.

Die grundlegende Getriebetechnik wird ständig weiterentwickelt, mit der Folge, dass die übertragbaren Drehmomente und die erreichbare Genauigkeit noch weiter erhöht werden sollen. Auf Grund dieser Weiterentwicklung wird die Anzahl möglicher Anwendungen weiter steigen. <<

Literatur

1. E. Slatter: »Präzise Miniatur-Servoantriebe erobern die Mikrowelt«; Photonik 5/2002, S. 74-76
2. C. Lausch, R. Göring, F. Wippermann: »Fiber optic switch concept with analog micromirror device«; SPIE 4983-39, 2003

Dr. Rolf Slatter

ist Vorstand für Marketing und Vertrieb bei Harmonic Drive in Limburg an der Lahn.

Die Steuerung fährt mit

Direkt an den Antriebsachsen montieren lässt sich eine intelligente und frei programmierbare Antriebssteuerung namens »CD/CS 85« von Mechnics, München. Die Platz sparende Steuerung ist für alle Leistungsanforderungen bis 100 W einsetzbar. Es können bis zu vier Motoren angeschlossen und deren Bewegungen paral-



lel und unabhängig gesteuert werden. Weitere Vorteile liegen in der preisgünstigen Anschaffung, der einfachen Installation, der geringen Störanfälligkeit und der praktischen Wartungsfreiheit.

■ Mechnics AG, 81825 München
Fon 089/42 02 42 -07, Fax -06
www.mechonics.de

Analyze This . . .

High-Speed Particle Characterization with Solid-State Lasers

Powerful new blue and green diode-pumped solid-state (DPSS) lasers from Melles Griot are ideal for such critical applications in analytical chemistry as capillary electrophoresis, flow cytometry, and fast-flow rate particle measurement.

- Output power to 3 W for faster flow rate
- <2% noise for maximum sensitivity
- Blue and green wavelengths for resolution
- All solid-state construction for reliability



Find out more:

06251-8406-0

www.mellesgriot.com

MELLES GRIOT

Melles Griot GmbH • Lilienthalstraße 30-32 • D-64625 Bensheim • 06251-8406-0 • FAX 06251-8406-22 • E-mail: info.germany@mellesgriot.com